

dr hab. Michał Spaliński
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Saereh Najjari
zatytułowanej "*Lepton Flavour Violation in the extensions of the
Standard Model*"**

Tematem rozprawy doktorskiej mgr Saereh Najjari są efekty łamania praw zachowania liczb leptonowych w rozszerzeniach modelu standardowego, a jej promotorem jest dr. hab. Janusz Rosiek z Uniwersytetu Warszawskiego.

Model Standardowy fizyki cząstek elementarnych jest podstawą naszego obrazu świata. Poza sektorem neutrin, jego formalna struktura jest całkowicie jednoznaczna i doświadczalnie potwierdzona. Niezależnie od niejasności co do źródła mas neutrin i oczekiwań opartych o spekulacje teoretyczne związane z ideą unifikacji, ważne jest wykrycie ewentualnych odstępstw od przewidywań Modelu Standardowego i zrozumienie jego źródeł. Do tego celu służyć może podejście zastosowane w recenzowanej pracy.

Aparat formalny kwantowej teorii pola pozwala na parametryzację efektów pochodzących od zjawisk na skalach odległości mniejszych niż te, które są opisywane przez Model Standardowy. Polega to na dodaniu efektywnych oddziaływań nierenormalizowalnych, których wkłady tłumione są przez odwrotność skali nowej fizyki. W ten sposób można wyrazić amplitudy rozważanych przejść poprzez współczynniki rozwinięcia Wilsona w teorii, dla której Model Standardowy jest teorią efektywną. W recenzowanej pracy podejście to zastosowane zostało do obliczenia pewnej klasy takich nowych efektów, które

mogą się pojawić w sektorze leptonowym (rozważając lagranżjan efektywne powstały przez dodanie do lagranżjanu Modelu Standardowego pełnej bazy operatorów wymiaru 5 i 6).

Dobrym dowodem na istnienie nowej fizyki poza Modelem Standardowym byłoby zaobserwowanie procesów, które w ramach tej teorii zabronione są przez symetrie, lub bardzo silnie tłumione. Praca mgr Najjari poświęcona jest trzem typom procesów, których występowanie oznaczałoby łamanie liczb leptonowych w poszczególnych rodzinach: radiacyjne rozpady leptonów, rozpady trójciałowe naładowanych leptonów i rozpady bozonu Z na dwa naładowane leptony (łamiące zachowanie liczb leptonowych rodzin). Procesy te są zabronione w Modelu Standardowym z bezmasowymi neutrinami. Obserwacja oscylacji neutrin wymaga jednak rozszerzenia sektora neutrin w taki sposób, by możliwe były wyrazy masowe dla nich. Mimo tego, że rozważane w omawianej pracy procesy łamiące indywidualne liczby leptonowe rodzin są w tak rozszerzonej teorii teoretycznie dozwolone, to są bardzo silnie tłumione przez mechanizm GIM. Ich zaobserwowanie byłoby świadectwem istnienia fizyki poza rozszerzonym o masy neutrin Modelem Standardowym. Wiele rozważanych obecnie rozszerzeń Modelu Standardowego (w tym supersymetrycznych) prowadzi do takich egzotycznych procesów.

Obok wyżej wymienionych typów rozpadów, autorka rozważa także poprawki pętlowe do wierzchołka fermion-foton, co prowadzi do obliczenia wkładów do magnetycznych (AMM) i elektrycznych (EDM) momentów dipolowych cząstek elementarnych Modelu Standardowego. EDM w ramach tej teorii są tak małe, że praktycznie niemierzalne. Pomiar niezerowego EDM byłby więc sygnałem nowej fizyki, sygnałem szczególnie ciekawym, bo oznaczającym łamanie symetrii CP na poziomie znacznie wyższym, niż to, co możliwe w Modelu Standardowym i mogłoby w konsekwencji prowadzić do wyjaśnienia asymetrii baryonowej we Wszechświecie. Z kolei mierzony anomalny moment

magnetyczny mionu obecnie wydaje się być większy, niż przewiduje Model Standardowy, co może także okazać się sygnałem nowej fizyki.

Recenzowana praca doktorska składa się z 7 rozdziałów, trzech dodatków i spisu literatury, na który składa się 95 pozycji. Pierwsze dwa rozdziały poświęcone są wprowadzeniu w tematykę, w szczególności przedstawiają zagadnienie łamania liczb leptonowych w ramach Modelu Standardowego rozszerzonego o masywne neutrino, podkreślając fakt, że omawiane dalej efekty są w ramach takiego minimalnego rozszerzenia tłumione do niemierzalnego praktycznie poziomu. Rozdział 3 dotyczy już wyjścia poza Model Standardowy; przedstawia on bazę niezmienniczych względem cechowania operatorów, których współczynniki zawierają informację o fizyce odpowiedzialnej za łamanie leptonowych symetrii zapachowych. Rozdziały 4,5,6 przedstawiają obliczenia dotyczące 3 klas rozpadów, których dotyczy omawiana praca. Rozdział 7 zawiera podsumowanie uzyskanych wyników. W dodatkach znajdujemy reguły Feynmana dla rozważanej efektywnej teorii pola i omówienie pewnych aspektów technicznych rachunków pętlowych w tej teorii.

Zaprezentowane wyniki publikowane były w formie artykułu w JHEP i w materiałach konferencyjnych. Mimo tego, że od strony metodologicznej praca nie zawiera istotnie nowatorskich elementów, to podjęty w niej problem jest bardzo złożony technicznie i zastosowanie istniejących metod wymagało dużej dyscypliny i opanowania technik kwantowej teorii pola. Widać wyraźnie, że praca została napisana w jednym z liczących się ośrodków, gdzie od lat prowadzone są tego typu badania. Wobec złożoności opisanych w pracy rachunków ważne jest, że autorka porównywała dwie metody liczenia efektów pętlowych jako sprawdzian konsystencji uzyskanych wyników. Wyniki te są wartościowe i mogą stanowić istotny element analizy konkretnych modeli fizyki poza Modelem Standardowym.

Ze zrozumiałych względów praca jest zogniskowana na sektorze leptonowym.

Wydaje się jednak, że celowe byłoby wprowadzenie we wstępie rozważanej klasy procesów w nieco szerszym kontekście, wspominając również o innych klasach procesów łamiących zachowanie liczb leptonowych, na przykład rozpadów pół-leptonowych $l_i \rightarrow l_j + \text{hadron}$, lub rozpadów pseudoskalarów, n.p. $K \rightarrow \mu e$. Omówienie takich efektów wykracza oczywiście poza ramy tego doktoratu (wymagałoby zapewne sformułowania problemu w formalizmie chiralnego lagranżjanu efektywnego), niemniej taki kontekst był może wart wspomnienia, choćby jako perspektywa dalszych badań.

W moim odczuciu praca byłaby też pełniejsza, gdyby autorka zilustrowała uzyskane wyniki także na przykładzie jakiegoś rozszerzenia Modelu Standardowego, co dałoby ograniczenia na parametry takiego modelu raczej niż na współczynniki rozwinięcia Wilsona. O wielu takich przykładach autorka wspomina – n.p. modele supersymetryczne, albo modele “małego Higgsa”.

Niezależnie od powyższych uwag, przedstawiona dysertacja nie pozostawia wątpliwości, że jej autorka bardzo dobrze opanowała warsztat i technikę perturbacyjnych obliczeń w kwantowej teorii pola i myśli poważnie na temat kluczowych pytań fizycznych wobec których stoi obecnie fizyka cząstek elementarnych. Poza tym praca napisana jest starannie i przejrzysto, a nie-liczne drobne usterki redakcyjne w niczym nie utrudniają jej odbioru.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa spełnia wszystkie ustawowe i zwyczajowe wymogi stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie mgr Najjari do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Michał Spaliński

Warszawa, 10/10/2014.